



# 天文教育教材開発と高大連携

## A Practical Science Education Using Astronomical Photograph and High School-University Corporation

貴島 政親<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 和歌山大学宇宙教育研究所

定規などの身近な道具・小学生で習う算数を使い、グループワークによる木星衛星の周期や光速を導出する教材を開発し実践したためここに報告する。素材として和歌山大学所有の市販8cm屈折望遠鏡でモニタ撮影した木星及び衛星の写真を用いた。本教材では、演示実験で終わらず、手を動かしたり、古代天文学者の発見を追体験したりするなどによって、科学に対する楽しみや科学的視点（要素分解、定量評価、データの取扱い、レポート執筆）の育成につなげることを狙う。

**キーワード：**天文教育, 理科教育, 科学的視点, 木星

### 1. はじめに

理科教育において宇宙は「ブラックホール」「壮大な宇宙」などのキーワードは魅力的なテーマである。天文は子供を惹きつける分野と言われるが、年齢を経るにつれ「夢がある」「特殊な分野」「お金がかかる」などのイメージに収束してしまう印象がある。それは天文教育自体が興味喚起や特殊分野教育に終始し勝ちに終わってはいけない。天文を用いた教材に理科や数学についての教育要素（用語、データの扱い方）を盛り込むことで、「学校で習ったことを活かして成す」ことを実感させ理科教育として確固たる立ち位置を確保したい。

我々は、市販の屈折望遠鏡で撮影した木星及び衛星の写真を用いて、木星衛星の公転周期を推定する天文教材を開発し、市民を対象として「宇宙カフェ<sup>[1]</sup>」にて実践した。結果、データの取り扱い方や共同作業についての学習効果も期待できることが分かったため報告する（2節）<sup>[2][3]</sup>。

また、木星の衛星を用いた簡単な光速導出手法（3節）、和歌山大学電波観測通信施設（12mアンテナ）<sup>1)</sup>を用いた高大連携事業（4節）についても簡単に紹介する。最後に5節にて成果についてまとめる。

### 2. 木星の衛星周期導出

#### 2.1 教材開発

今回開発した教材は、木星の天体写真を用いたものである。天体写真は和歌山大学（学生自主創造科学センター）が所有している市販の天体望遠鏡とカメラを用いて2012年12月25日～2013年04月19日の期間に撮影を行なった。特に01月を高頻度に撮影した。この活動については和歌山大学宇宙教育研究所紀要<sup>2)</sup>にて報告した。既存の写真を使用するよりも、目の前の講演者が実際に市販品で撮影した写真を教材とすることで、受講者に「自分たちでもできるんだ」という開拓心を喚起させる狙いがある。

今回開発した教材では2012年12月25日～2013年01月31日に撮影した合計61枚の天体写真を用いている。（表1）このなかには1日に複数回撮影したものも含まれている。これは木星の衛星のうち、イオの周期が1.7日であるため数時間で充分動きが検出できるためである。逆に言えば、数時間単位で撮影しなければイオの動きがとらえきれず、周期導出のデータとして不十分な場合があるため撮影したのである。これは後にナイキストのサンプリング定理の学習につながればと思っている（2.4にて言及）。

撮影した天体写真を教材化するために以下のような

表1：教材化した天体写真一覧

日付	時刻	ファイル名	通日[day]	離 離 距 離 [cm]		エウロパ	誤 差	ガニメデ	誤 差	カリスト	誤 差
				イ オ	誤 差						
2012/12/26	19:53	0022	0.8	-0.80	0.05	0.00	0.35	2.80	0.05	5.40	0.05
2012/12/27	19:41	0035	1.8	1.25	0.05	2.10	0.05	0.60	0.05	5.35	0.05
2013/01/03	21:37	0003	8.9	1.25	0.05	2.15	0.05	0.85	0.05	-4.50	0.05
2013/01/03	21:46	0038	8.9	1.30	0.05	2.20	0.05	0.85	0.05	-4.45	0.05
2013/01/03	22:18	0040	8.9	1.15	0.05	2.10	0.05	0.70	0.05	-4.45	0.05
2013/01/03	22:26	0048	8.9	1.15	0.05	2.10	0.05	0.70	0.05	-4.45	0.05
2013/01/03	23:10	0058	9.0	1.10	0.05	2.05	0.05	0.65	0.05	-4.50	0.05
2013/01/03	23:43	0060	9.0	1.00	0.05	2.10	0.05	0.60	0.05	-5.10	0.05
2013/01/04	00:26	0072	9.0	0.90	0.05	2.05	0.05	0.00	0.35	-5.10	0.05
2013/01/04	00:53	0083	9.0	0.70	0.05	1.90	0.05	0.00	0.35	-4.55	0.05
2013/01/04	01:31	0086	9.1	0.65	0.05	1.90	0.05	0.00	0.35	-4.55	0.05
2013/01/04	02:11	0103	9.1	0.00	0.35	2.05	0.05	0.00	0.35	-5.30	0.05
2013/01/04	17:52	0004	9.7	-0.80	0.05	0.00	0.35	-2.05	0.05	-4.70	0.05
2013/01/04	18:54	0007	9.8	-0.65	0.05	0.00	0.35	-1.45	0.05	-4.60	0.05
2013/01/04	19:32	0009	9.8	-0.55	0.05	0.00	0.35	-1.45	0.05	-4.65	0.05
2013/01/04	20:09	0017	9.8	-0.55	0.05	-0.10	0.05	-1.50	0.05	-4.60	0.05
2013/01/04	20:40	0022	9.9	-0.55	0.05	-0.20	0.05	-1.60	0.05	-4.60	0.05
2013/01/04	21:10	0025	9.9	-0.45	0.05	-0.25	0.05	-1.65	0.05	-4.65	0.05
2013/01/04	21:35	0029	9.9	-0.35	0.05	-0.30	0.05	-1.65	0.05	-4.70	0.05
2013/01/04	22:03	0033	9.9	-0.25	0.05	-0.35	0.05	-1.70	0.05	-4.65	0.05
2013/01/04	22:33	0037	9.9	-0.20	0.05	-0.40	0.05	-1.70	0.05	-4.60	0.05
2013/01/04	23:01	0042	10.0	-0.10	0.05	-0.45	0.05	-1.80	0.05	-4.70	0.05
2013/01/04	23:30	0047	10.0	-0.05	0.05	-0.50	0.05	-1.80	0.05	-4.55	0.05
2013/01/05	00:10	0053	10.0	0.00	0.35	-0.60	0.05	-1.80	0.05	-4.55	0.05
2013/01/05	00:31	0057	10.0	0.00	0.35	-0.60	0.05	-1.80	0.05	-4.60	0.05
2013/01/05	01:04	0074	10.0	0.00	0.35	-0.70	0.05	-1.95	0.05	-4.55	0.05
2013/01/05	01:41	0087	10.1	0.00	0.35	-0.75	0.05	-1.90	0.05	-4.45	0.05
2013/01/05	02:00	0098	10.1	0.00	0.35	-0.70	0.05	-1.95	0.05	-4.50	0.05
2013/01/05	02:12	0101	10.1	0.00	0.35	-0.85	0.05	-1.95	0.05	-4.50	0.05
2013/01/05	02:21	0104	10.1	0.00	0.35	-0.80	0.05	-2.00	0.05	-4.50	0.05
2013/01/05	02:28	0122	10.1	0.00	0.35	-0.85	0.05	-2.00	0.05	-4.50	0.05
2013/01/05	02:58	0146	10.1	0.60	0.05	-0.90	0.05	-2.00	0.05	-4.50	0.05
2013/01/05	20:07	0013	10.8	0.65	0.05	-1.35	0.05	-2.55	0.05	-4.15	0.05
2013/01/05	20:27	0036	10.9	0.65	0.05	-1.35	0.05	-2.60	0.05	-4.10	0.05
2013/01/05	21:06	0112	10.9	0.00	0.35	-1.35	0.05	-2.60	0.05	-4.10	0.05
2013/01/05	21:11	0129	10.9	0.00	0.35	-1.30	0.05	-2.60	0.05	-4.05	0.05
2013/01/05	23:20	0147	11.0	0.00	0.35	-1.15	0.05	-2.55	0.05	-3.95	0.05
2013/01/05	23:25	0166	11.0	0.00	0.35	-1.20	0.05	-2.60	0.05	-4.00	0.05
2013/01/06	21:35	0004	11.9	0.70	0.05	1.55	0.05	-1.45	0.05	-2.75	0.05
2013/01/06	22:00	0060	11.9	0.75	0.05	1.55	0.05	-1.40	0.05	-2.75	0.05
2013/01/06	22:18	0167	11.9	0.85	0.05	1.65	0.05	-1.40	0.05	-2.65	0.05
2013/01/07	19:09	0004	12.8	-0.20	0.05	1.65	0.05	0.00	0.35	-1.35	0.05
2013/01/07	19:20	0012	12.8	-0.20	0.05	1.75	0.05	0.00	0.35	-1.35	0.05
2013/01/08	19:05	0001	13.8	1.10	0.05	-1.20	0.05	2.85	0.05	0.70	0.05
2013/01/11	18:23	0001	16.8	-0.80	0.05	0.00	0.35	-1.05	0.05	4.90	0.05
2013/01/11	19:08	0034	16.8	-0.75	0.05	0.00	0.35	-1.15	0.05	4.85	0.05
2013/01/12	21:12	0001	17.9	0.80	0.05	-1.40	0.05	-2.45	0.05	5.20	0.05
2013/01/12	22:00	0023	17.9	0.75	0.05	-1.35	0.05	-2.45	0.05	5.20	0.05
2013/01/12	22:28	0067	17.9	0.50	0.05	-1.30	0.05	-2.50	0.05	5.10	0.05
2013/01/12	22:57	0293	18.0	0.00	0.35	-1.30	0.05	-2.55	0.05	5.10	0.05
2013/01/16	23:23	0005	22.0	-1.35	0.05	0.60	0.05	2.80	0.05	-0.75	0.05
2013/01/17	02:37	0012	22.1	-0.80	0.05	0.00	0.35	2.70	0.05	0.00	0.35
2013/01/17	02:45	0039	22.1	-0.80	0.05	0.00	0.35	2.70	0.05	0.00	0.35
2013/01/22	18:21	0006	27.8	0.00	0.35	-0.65	0.05	2.15	0.05	-3.60	0.05
2013/01/23	18:32	0005	28.8	0.40	0.05	-1.00	0.05	3.10	0.05	-2.35	0.05
2013/01/25	18:32	0007	30.8	-0.75	0.05	1.05	0.05	-0.40	0.05	1.15	0.05
2013/01/26	19:06	0008	31.8	1.40	0.05	-1.40	0.05	-2.15	0.05	2.80	0.05
2013/01/29	18:20	0003	34.8	0.00	0.35	-0.30	0.05	1.80	0.05	4.90	0.05
2013/01/29	18:50	0009	34.8	0.00	0.35	-0.40	0.05	1.85	0.05	4.90	0.05
2013/01/30	21:21	0009	35.9	-0.40	0.05	-0.95	0.05	2.90	0.05	4.35	0.05
2013/01/31	21:22	0011	36.9	1.30	0.05	1.70	0.05	2.00	0.05	3.30	0.05

作業を行なった。(1) 使用に足る写真データを選別する。(2) 写真を編集できる状態にする。例えばパワーポイント（マイクロソフト社）に貼り付けると以下の工程が簡便である。(3) プラネタリウムソフトを使って木星及びガリレオ衛星の位置を確認し、写真に衛星名を書き込む。ここでは無償ソフトの「stellarium（ステラリウム）<sup>[4]</sup>」を使用した。(4) プラネタリウムソフトで写真の東西を調べて、写真に書き込む。(5) 写真を印刷して、ラミネート加工を行なう。なお(4)については今回の実施時（2.2にて言及）に行なった。

以上のように開発した教材を用いて、衛星周期を導出する手順は下記のとおりである。(1) 写真に定規をあて、木星と衛星の離隔距離を測定する。(2) 横軸を

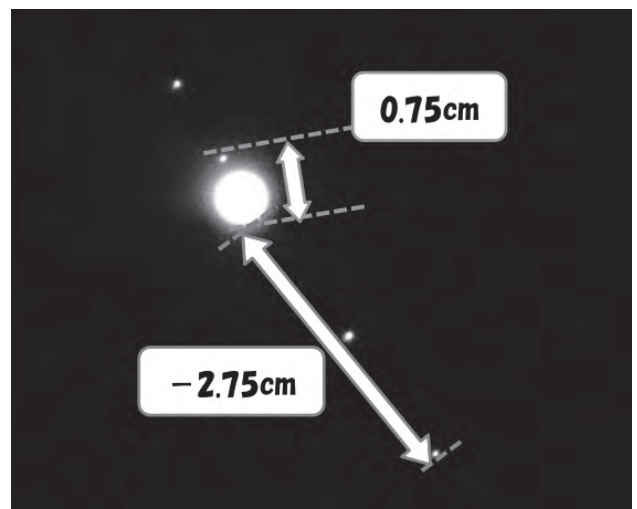


図1：衛星と木星との離隔距離の測定例（筆者導出時）写真は2013/01/06 22:00:12に撮影したもの。

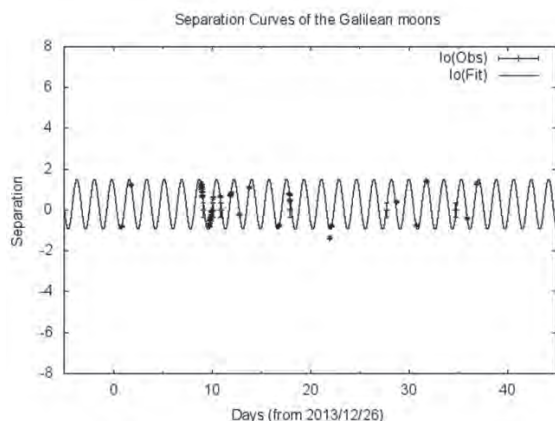


図2a：イオの離隔距離の変化

$$\begin{aligned} a &= 1.22687 \pm 0.0333 \\ b &= 1.77408 \pm 0.001394 \\ c &= -122.095 \pm 2.55 \\ d &= 0.28318 \pm 0.0173 \end{aligned}$$

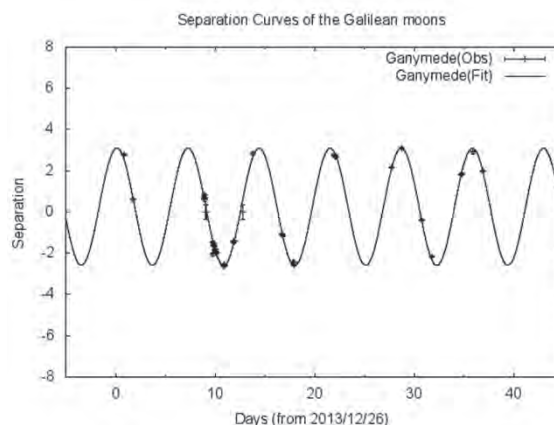


図2b：エウロパの離隔距離の変化

$$\begin{aligned} a &= 1.81873 \pm 0.02127 \\ b &= 3.54775 \pm 0.002884 \\ c &= 84.6299 \pm 1.525 \\ d &= 0.338367 \pm 0.01724 \end{aligned}$$

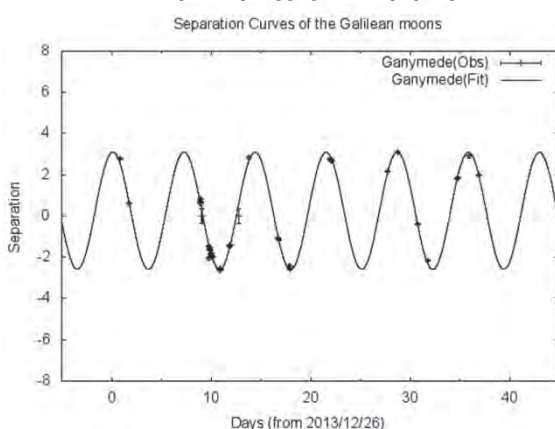


図2c：ガニメデの離隔距離の変化

$$\begin{aligned} a &= 2.83935 \pm 0.02624 \\ b &= 7.14392 \pm 0.008699 \\ c &= -82.7311 \pm 1.118 \\ d &= 0.258635 \pm 0.02339 \end{aligned}$$

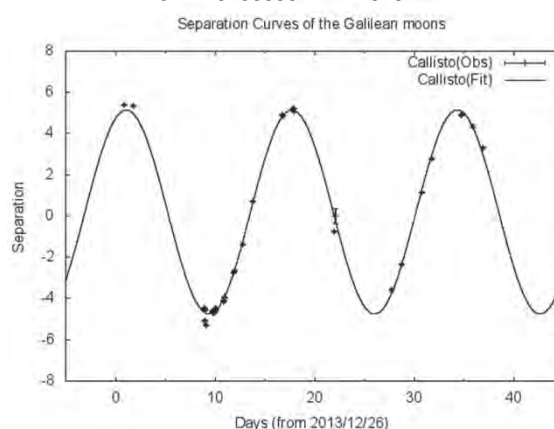


図2d：カリストの離隔距離の変化

$$\begin{aligned} a &= 4.94658 \pm 0.03362 \\ b &= 16.6363 \pm 0.05545 \\ c &= -66.5374 \pm 1.601 \\ d &= 0.195754 \pm 0.03211 \end{aligned}$$

図2：ガリレオ衛星と木星との離隔距離の時系列変化及び公転周期の導出（筆者導出時）最小二乗推定式は、 $f(x) = a \sin(3.141592 \cdot 2/b \cdot x - (3.141592/180 \cdot c)) + d$ であり、 $b$ が周期（日）。

表2a：導出した衛星の公転周期と軌道長半径周期がおおむね良い値になっていることがわかる。軌道長半径の観測値の単位は、ディスプレイで計測した距離[mm]である。実寸換算はまだしていないため、その比のみ下記のように見てみる。観測値の軌道長半径については今回は議論しない。

	真値(○)		観測値(○)	
	周期 [day]	軌道長半径 [km]	周期 [day]	軌道長半径 [mm]
イオ	1.77	421800	1.77	1.23
エウロパ	3.55	671100	3.55	1.82
ガニメデ	7.16	1070400	7.14	2.84
カリスト	16.69	1882700	16.64	4.95

表2b：導出された衛星の公転周期の真値との相対誤差1%をきる精度で導出できていることが分かる。

周期	相対誤差 O-O [%]		
	nominal	min	max
イオ	-0.29	-0.21	-0.37
エウロパ	0.09	0.17	0.01
ガニメデ	0.15	0.28	0.03
カリスト	0.32	0.65	-0.01

時系列，縦軸を離隔距離としてプロットを描く。(3)プロットについて最小二乗法によって衛星周期を導出する。ここでは無償ソフトのgnuplot<sup>[5]</sup>（Windows版はwgnuplotという場合もある）を使用した。

衛星周期の導出試験を行なった。写真をパソコンの

ディスプレイ画面に表示して定規で測定した。測定基準は「木星の西側の縁」と「衛星の木星とは反対側の縁」である（図1）。木星の中心を測定基準点としなかった理由は、目視による中心同定には個人差による人為的誤差が内包されるため、この教材の実際での利用に



おける性能評価にならないためである。この試験の目的は教材が目視測定に足るか否かであって、厳密な解析を行なって正確な周期を導出することではない。

定規の最小目盛は1mmであるため、1mm目盛内を四捨五入して計測することにした。よって読み取り誤差を $\pm 0.05\text{cm}$ とした。衛星が木星との掩蔽/通過をしていて観測されない場合は離隔距離を0cmとし、木星視直径が約0.7cmだったため誤差を $\pm 0.35\text{cm}$ としてこの後のfittingの情報に参画させた(表1)。最小二乗推定の結果は図2a~2d及び表2a, bの通りであり、相対誤差1%以内の精度で衛星周期を導出できた。

## 2.2 実施 ~宇宙カフェ~

開発した教材の実施は、2013年06月28日に「宇宙カフェ<sup>[1]</sup>」にて行なった。宇宙カフェとは、和歌山市と和歌山大学の連携行っている一般向けのサイエンスカフェである<sup>3)</sup>。参加者は飲み物を片手に、プレゼンターの講演を聞いたり、グループワークなどを行ったりする。内容も天文の知識、研究、活動紹介など多岐にわたる。今回の実施タイトルは「発見!!和歌山大

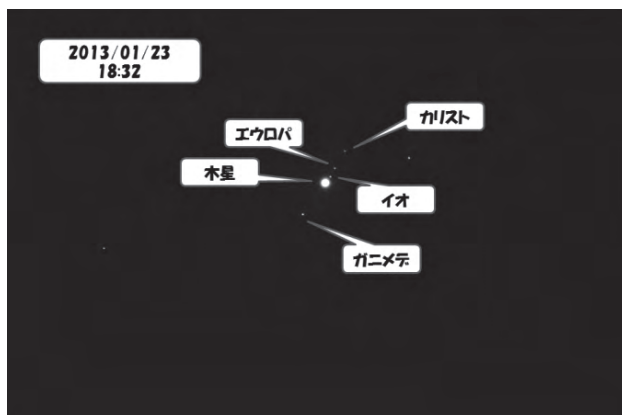


図3：開発した教材  
※まだ東西表記はしていない。



図4：宇宙カフェの様子

図5：宇宙カフェでの座学（抜粋）



図5a：衛星についての座学 出典：NASA

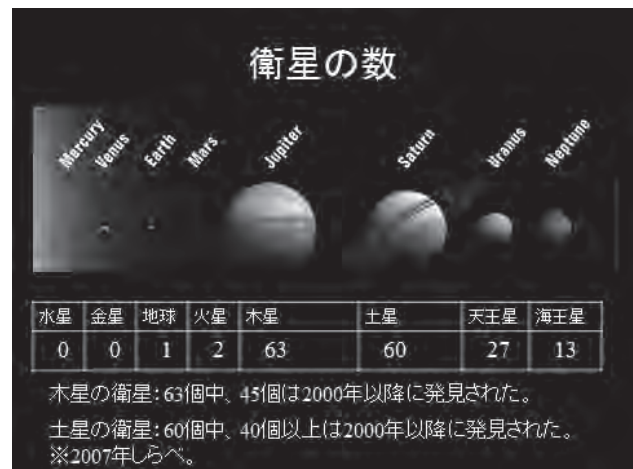


図5b：衛星の数についての座学  
出典：International Astronomical Union

学で撮影した木星写真であなたもガリレオ気分?!」とした。受講者は14名(男性9, 女性5)であり、9名が50歳代以上であった。なお12名がリピータ参加である。開発した教材の一例を図3、宇宙カフェの様子を図4に掲載する。

はじめに、惑星や木星についての基本知識の講演を行なった(図5a, 5b)。恒星・惑星・衛星の定義・写真や太陽系及び木星について解説した。さいごに木星衛星の公転周期導出実習について解説した。

実習では、天体写真に定規をあて、木星と衛星の離隔距離を計測する。計測する衛星はエウロパとした。それは公転周期が約3.6日と扱いやすいためである。まず天体写真を各自4枚程度ずつ、自らが良質の写真を選別するようにして取得させた(A, 2.3節で引用する)。そして参加者に測り方について議論するように促した。議論は「木星や衛星は大きさがあるが測る基準は、中心なのか、縁なのか」「報告する単位はどうするか」「目盛以下の読み取りをどうするか」など

であった。議論の結果、「測定基準については、衛星は点源であるので気にしなくて良い。木星はサイズをもっていたので目測で中心付近に定規をあてる」「定規の読み取りは最小目盛内を四捨五入する。つまり1mm目盛の定規であれば、1mm目盛内を見て、0.6mm程度であれば1mm繰り上げる」という統一認識をもつことができ、計測を開始した (B)。

計測結果を順番に報告してもらい、講演者が時系列-対-離隔距離のプロットを提示した。ここでのプロットは図6のようになり、再び議論を促した。議論の結果「木星に対して左右を定義すること」に気づいたため、ここで東西について教授し、衛星が木星の東側であれば正值、西側であれば負値とすることになった (C)。また、衛星が同日でも動いているため、時系列に日付だけでなく時刻も勘定することとなった (D)。

プロットについて、最小二乗法を行ない、周期導出した。導出過程はパソコン画面をプロジェクターによってスクリーン投影することですべて見せた。最小二乗法の詳細やソフトの使用手順については割愛した (E)。プロットを俯瞰することで外れ値の存在 (F) やデータの不足(タイムカバレッジなど)について議論し (G)、データの追加や選別などを行なって最終的な周期導出をおこなった (図7)。

導出されたエウロパの公転周期は3.55日であった。真値と1%以内で一致してはいるが、推定線とデータが外れているものもあった。

### 2.3 教育的効果と参加者の感想

宇宙カフェの最後に各局面の科学的視点について解説した。以下では2.2節文中を引用して述べる。(A) 自らの手で解析する写真を選ばせることによって、より良いデータを利用しようとする意識を持たせることができた。(B) 同じ計測を協力して行なうために、計測方法や報告方法を統一することへの意識を育て、グループで活動するノウハウを習得できた。(C) 計測値は長さであり正の値をとるが、方向を正負により区別する工夫を見出すことができた。(D) 時系列は2013/01/01からの経過日数で計算したため、2012年であれば負の値をとること、時刻を考慮するために小数点計算をすることなどを学習できた。時刻考慮については負日への時間考慮の特殊性にも気づくことができた。つまり2013/01/02 12:00であれば2.5日目 (2+0.5)

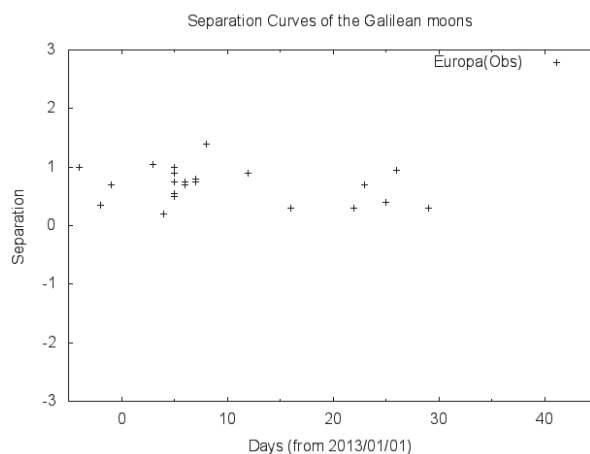


図6：宇宙カフェで作成したグラフ 離隔距離に東西 (正負) の判別を導入していないため、すべてのデータが正の値となっている。

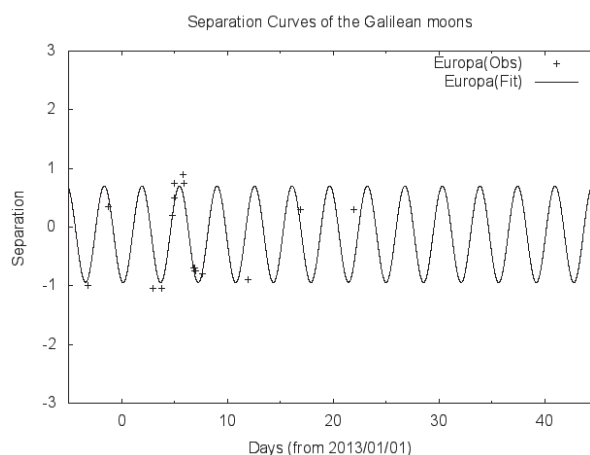


図7：宇宙カフェで作成したグラフ (最終)

$a = 0.822969 \pm 0.1517$   
 $b = 3.55137 \pm 0.06284$   
 $c = 106.095 \pm 17.43$   
 $d = -0.12229 \pm 0.1073$

であり、2012/12/31 12:00であれば-0.5日目 (-1+0.5) としなければならない。(E) 最小二乗法の数学的原理までは触れることはできなかったが、「データに対してモデルをあてはめて、解釈する」という科学的手法について学習できた。(F) グラフを描画することで、予測や傾向と異なるデータの取扱いを学ぶことができた。外れ値が生じる原因として、写真の衛星記述のミスや計測ミスなどの人為的ミス、用紙がA4用紙であり、0.5mm読みでは不十分であるという計測的問題などについて認識する機会となった。(G) 周期的変化の解析であるため、スロープをおえるために高頻度の観測が必要であること、特に頂点が大切であるため適切な時期のデータ取りが必要であること、周期を複数回確認したいために長期間観測が必要であることなどの「データの取り方」を意識することができた。

参加者の感想は、「自分達でデータを取り、グラフ

にして、一つの答えを見出していくこと」への一連の流れが好評で、また「グループ作業」「数学」への興味もでてきたとのことだった。

## 2.4 反省点と改善案と今後

講演時間はなんとか90分におさまったが、作業を円滑にするために、特に受講者から計測値を報告してもらってまとめる際にツールが必要である。特に、時系列計算（基準日からの経過日数、時刻の考慮）などで手間取った。これはExcel（マイクロソフト社）などで簡単に改善できる。

写真をA4サイズに印刷したが小さいために測定精度に支障がある。これは、B4など大きくすれば改善できる。

使用したソフトの紹介や使用方法教授もしたい。また、望遠鏡やカメラを使用できる機会・団体の活動などを紹介し、「自分でもやってみよう」と天体撮影活動への見学や参加を促したい。

天文以外の教育にも派生できると考えている。最小二乗法についての教材にもなり、非線形であるため初期値をいれる良い機会にもある。衛星イオは周期が短いために高頻度観測が必要であるとともに、サンプリング定理の教材にもなると期待できる。例えば2013/01/03～05（図2aの8～9日目）の30分毎の高頻度データを抜いた状態での解析について議論するなどである。

## 3. 木星衛星を使用した簡単な光速導出、木星影の観測

小学校で習得する「速さ = 道のり / 時間」の知識を使用して天体写真から光速を導出する教材を考案した。天体写真撮影にて、木星の衛星が掩蔽（地球から見て木星の裏側を通る。外合）及び通過（地球から見て木星の表側を通る。内合）するイベントの観測時刻（以下、観測イベント時刻）と、プラネタリウムソフトで木星でのイベント時刻（以下、木星イベント時刻）及び木星～地球の距離を調べておく。地球でのイベント観測時刻には、木星から地球までを光が伝搬する時間（light travel time）が含まれるはずである。よって「光速 = （地球～木星の距離） / （観測イベント時刻 - 木星イベント時刻）」によって導出することができる。

天体写真の撮影についての機材については、2節と

同様である。ステラリウムは既定として光伝搬機能（light travel timeの考慮）は無効になっている。この設定はファイル「config.ini」にて確認変更できる。使用としては木星をクリックして選択した後に、tボタンを押せば木星を追尾したまま時刻を変更することができ、イベント時刻を調べる際に便利である。

2013/01/22の天体写真データを用いて光速を導出した。イベントは衛星イオが木星への掩蔽から脱することとした。ただし掩蔽の場合は木星の影による減光の影響（食）への注意が必要である。プラネタリウムソフトによると、18:03に掩蔽から脱するがイオは木星との食により28等級にまで減光されており、18:09に木星影から抜け出し始め増光を始め、19:14に通常の5.6等級に達する。天体写真でイオが観測されるのは5.6等級になった時と仮定して、19:14を木星イベント時刻とした。観測イベント時刻を導出するための天体写真を図8a～8fに掲載する。写真から観測イベント時刻は19:46と思われる。よって19:14と19:46の差1920秒（約32分）が光伝搬に要した時間である。この時の木星地球間の距離は4.45 AU（ $665.7 \times 10^6$  km）であることがプラネタリウムソフトからわかる。したがって、光速は $665.7 \times 10^6 / 1920 = 34.6 \times 10^5$  km/sと見積もられる。真値に対して相対誤差13%で導出することができた。逆に光速真値と木星イベント時刻から、観測イベント時刻を逆算推定すると19:51となった。

また図8の写真を見ると、イオが木星から離れたところに出現したことがわかる。これを木星の影による減光（食）が原因であると受講者に考えさせることはおもしろい。

## 4. 和歌山大学12mパラボラアンテナの教育利用

### 4.1 パラボラガール&ボーイ養成講座

和歌山大学12mパラボラアンテナは衛星運用を主目的として建設され、宇宙工学教育利用をしている。特に2012年夏には「ARISS」という小学生が国際宇宙ステーションの星出宇宙飛行士との交信を行うイベントを行った。また、人工衛星受信や宇宙技術を使用した防災についての企画もある。一方、パラボラアンテナは電波天文学の観測装置でもあるため、天文教育利用も行っている。ここでは2012年度からの高校生への講座について報告する。

高校生向けの講座として「パラボラガール&ボーイ



衛星イオが外合から脱する周辺の天体写真（※縮尺は任意）



図8a : 2013/01/22 19:45:46



図8b : 2013/01/22 19:46:08イオが右上に見え始める。

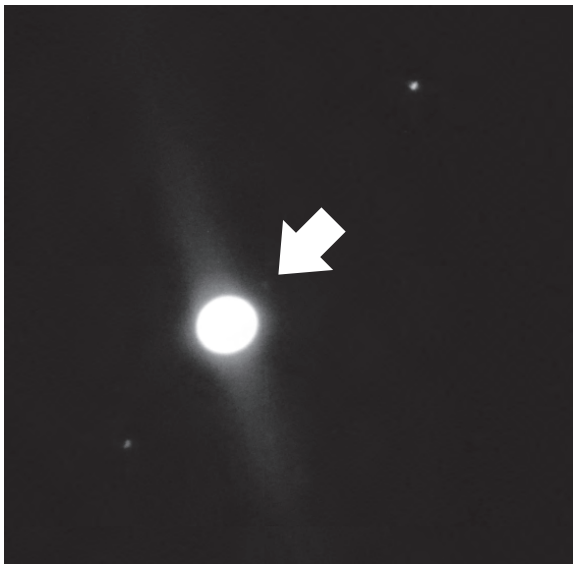


図8c : 2013/01/22 19:46:20

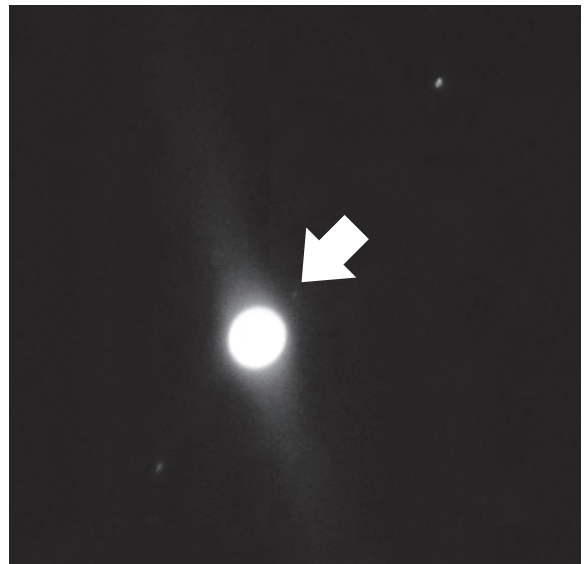


図8d : 2013/01/22 19:46:38

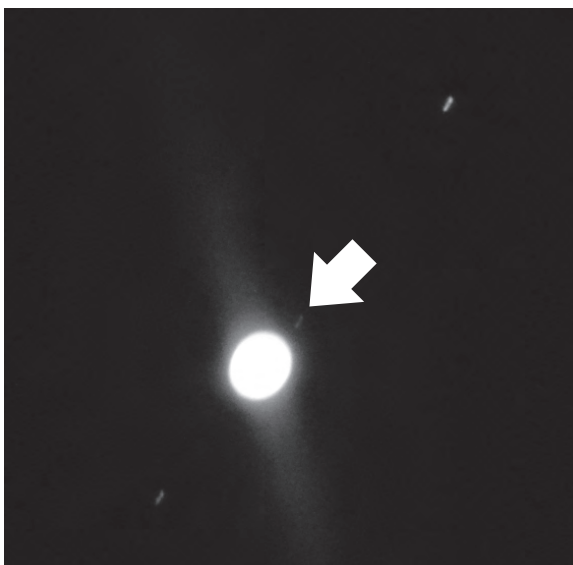


図8e : 2013/01/22 19:46:54

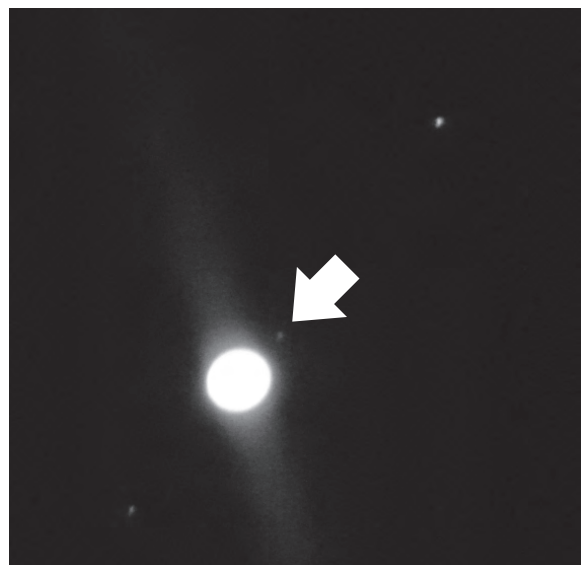


図8f : 2013/01/22 19:47:02

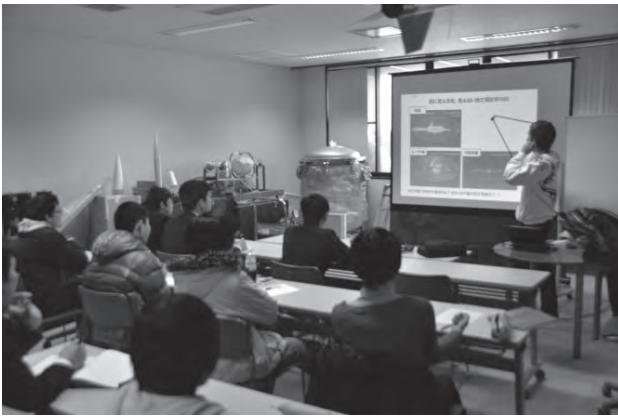


図9：パラボラガール＆ボーイ養成講座の様子1  
(2013/01/26 高校生・大学生)



図10：パラボラガール＆ボーイ養成講座の様子2  
(2013/07/12 和歌山工業高校)

養成講座」(以下、パラガ)を2012年度より開始した。現在までに4回実施している(2013/01/26, 2013/05/09, 2013/06/08～09, 2013/07/12, 図9, 10)。

この講座では独自に考案した「獲得型カリキュラム(ハンティングカリキュラム)」を導入している。獲得型カリキュラムとは、受講者が12mアンテナにて実施したい実習(目的)を自ら選択し、カリキュラム表(表3)から必要な座学・実習を選択受講してステップアップする獲得型カリキュラムである。現在は各座学や各実習を開発し試験的に実施することで講義資料が確立されてきた。受講者の主体性が喚起されるようなカリキュラムにするために「学校で習うことを活かせる(普

表3：獲得型カリキュラムのカリキュラム表の一部

「\*」は受講すると得られ、「+」が受講するに必要な座学・実習である。たとえば、「実習：電波望遠鏡の操縦」を受講するためには、「座学：電磁波とは」「座学：アンテナシステム」の受講が必要である。

\*:受講修了 +:受講資格

座学									
電磁波とは	*								
アンテナシステム	*								
人工衛星座標		*							
天体座標			*						
フーリエ変換				*					
ドップラーシフト				+	*				

実習									
電波望遠鏡の操縦	+	+				*			
天文電波の受信	+	+	+	+		+	*		
人工衛星の受信	+	+	+			+		*	
銀河回転の計測	+	+	+	+	+	+	+	*	
人工衛星と送受信	+	+	+			+	+		*

段の学習への意義づけ)」「学校で習っていないことをどう学ぶか(開拓心の養成)」「自分で導出する(実践経験)」ということに留意した内容にしている。

#### 4.2 高大連携観測

パラガにて高大連携事業が派生したため報告する。近畿大学附属和歌山高校が2013/01/26のパラガに参加し、2013年度夏の「全国高等学校総合文化祭」(略称総文祭、2013年度は長崎にて開催)へ発表することを目標にして活動を開始した。研究テーマは、中性水素が発する波長21cmの電波輝線を観測し、輝線のドップラーシフト量から相対速度を導出することで、天の川銀河の回転方向を推定することとした。高校1年生3名をメインメンバーとして2013/02/13, 02/20, 04/03, 04/21に観測を行ない(図11)、05月に総文祭への参加



図11：高大連携での近畿大学附属和歌山高校の活動



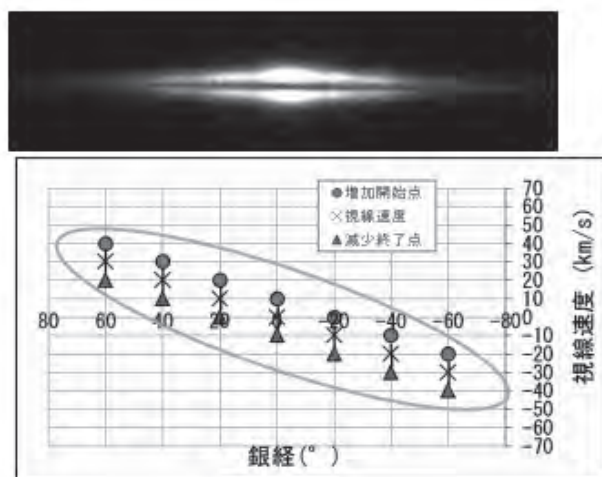


図12a：総文祭への発表資料より  
観測される視線速度と銀河の回転方向。

銀河の画像 (Mitaka: Copyright (c) 2005 加藤恒彦, 4D2U Project, NAOJ)

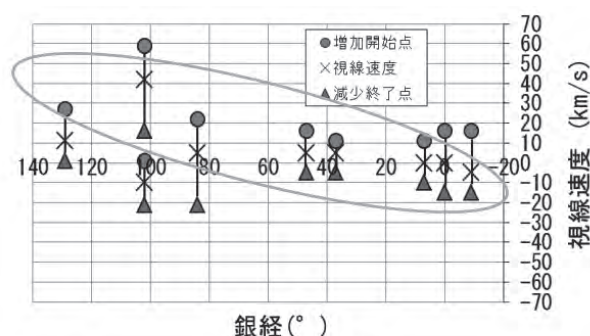


図12b：総文祭への発表資料より

観測された視線速度と推定した銀河の回転方向。

銀河の画像 (Mitaka: Copyright (c) 2005 加藤恒彦, 4D2U Project, NAOJ)

原稿の作成と提出, 06, 07月に口頭発表のプレゼン資料作成と発表練習への指導を行ない, 08月に総文祭への発表をし (図12a, b), 09月に反省会を行なった。

## 5. まとめ

天文学は低年齢時代においてとても魅力的なテーマであることを活かし, データ取りから解析までを体験できる教材があれば, 理科教育・数学教育・グループ学習への一助となれると考えた。実際に宇宙カフェにて全年齢向けにおこなったが, その効果は期待できそうである。天体写真については新規性のない「教具」のように見えるが, 今回提示した指導手順と一緒にした「教材」としてみると, 単なる知識習得の教材に終わらない教材になり得る見通しがたった。

パラボラガール&ボーイ養成講座については, 試験的实施を経て基本的な座学 (5つ) と実習 (2つ) は確立できた。今後はより高度な発展性・専門性のある講座群を用意していきたい。

## 謝辞

教材開発のための天体写真は和歌山大学学生自主創造センター (愛称クリエ) の所有する機材を使用し, 同センターの自主演習プロジェクト「天体継続観測プロジェクト」のメンバーと撮影を行いましたので, ここに謝意を表します。「宇宙カフェ」は, 和歌山市と和歌山大学の連携事業であり, 教材試行の機会を頂けたためここに謝意を表します。また高大連携は近畿大学附属和歌山高校の西岡健太郎教諭のご指導及び高校生の熱意により実施することができましたので, この謝意を表します。

本活動及び研究については, 総合科学技術会議により制度設計された最先端研究開発支援プログラムにより日本学術振興会を通しての助成によって推進されました。

## 注

- [1] <http://www.wakayama-u.ac.jp/machikado/cat13/>
- [2] 貴島政親, 佐藤奈穂子, 西濱玲子, 和歌山大学の天文学・宇宙教育に関する教材と連携, 第27回天文教育研究会(2013年08月), ポスター発表
- [3] 貴島政親, 「わぁ不思議!」で終わらない天文教材開発～木星衛星周期・光速導出～, 天文学会秋季年, (2013年08月), ポスター発表
- [4] <http://www.stellarium.org/ja/>
- [5] <http://www.gnuplot.info/>

## 引用・参考文献

- 1) 佐藤菜穂子 (2012): 和歌山大学12mパラボラアンテナを用いた宇宙プロジェクトマネジメント授業, 和歌山大学宇宙教育研究所紀要, 1, 23-27
- 2) 貴島政親, 他4名 (2013): 和歌山大学における学部横断的な天文教材開発活動, 和歌山大学宇宙教育研究所紀要, 2, 13-18
- 3) 後藤千晴, 吉住千亜紀 (2013): 地域と大学をつなぐ「宇宙カフェ」, 和歌山大学宇宙教育研究所紀要, 2, 35-38